

4

Campanhas de Medições

Neste capítulo são descritas as campanhas de medições realizadas e o procedimento utilizado para a aquisição e o processamento de dados. Neste trabalho foram considerados os resultados de 3 campanhas de medições.

A primeira delas foi realizada no ano 2000 pelo Instituto Presbiteriano Mackenzie, em parceria com a ABERT/SET, na cidade de São Paulo, durante a primeira avaliação das tecnologias. São medidas de nível de recepção e qualidade subjetiva do sinal que, embora realizadas antes do início deste trabalho, tiveram seus resultados disponibilizados e foram utilizadas para avaliação da perda média de propagação.

As demais campanhas de medições foram realizadas dentro do escopo desta tese. A segunda campanha, realizada pelo CETUC-PUC/Rio em parceria com o Instituto Presbiteriano Mackenzie no ano de 2006, inclui não apenas a determinação do nível de sinal recebido, mas também a resposta em banda larga do canal, caracterizada pelo perfil de retardos. Na terceira campanha de medições, realizada pelo CETUC-PUC/Rio em parceria com o Inmetro, foram realizadas medições da intensidade de sinal recebido e do perfil de retardos do canal no interior de prédios com transmissão externa.

4.1.

Primeira Campanha de Medição

Na primeira campanha de medições foi utilizado um transmissor digital no canal 33 de UHF, centrado na frequência 593 MHz, com potência média de 5 kW, operando com 2.5 kW. A estação transmissora foi instalada na Torre da TV Cultura, localizada no bairro Sumaré – SP com cota de 816 m. Utilizou-se um sistema diretivo, através de uma antena “Slot” TTSL-4UQM da Trans-Tel, cujos diagramas de radiação horizontal e vertical são mostrados na figura 4.1, e que apresenta o zero grau do diagrama de irradiação voltado para 117°.

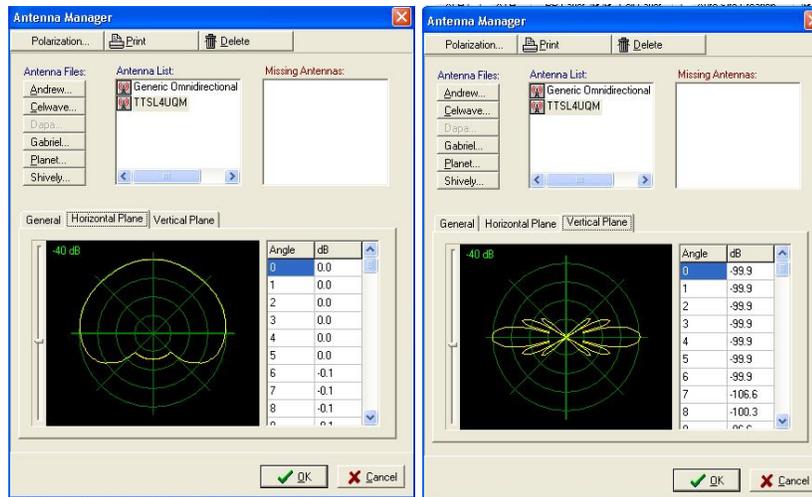


Figura 4.1 – Diagramas horizontal e vertical da antena utilizada na transmissão

Para a definição dos pontos de medição foram traçadas radiais uniformemente distribuídas a partir da antena transmissora. Foram realizadas medições nos pontos de interseção destas radiais com círculos de 3 a 40 km de raio. As radiais foram espaçadas de 15 em 15 graus dentro dos 220 graus de abertura do diagrama de radiação da antena. Em cada radial, o passo foi de 3 km, para $d \leq 15$ km e de 5 km para $15 < d \leq 30$ km, com uma medida adicional na distância de 40 km. A figura 4.2 apresenta a localização geográfica de cada um dos pontos de medição.

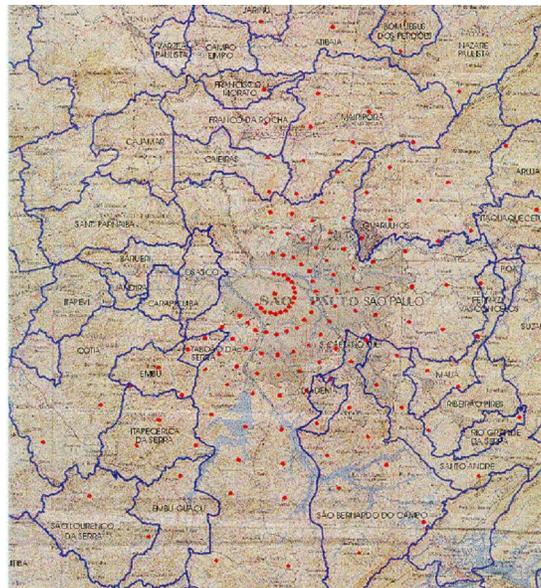


Figura 4.2 Localização Geográfica dos Pontos de Medição da Primeira Campanha

As medições foram realizadas utilizando-se um veículo especialmente equipado para este fim. A antena de teste do veículo foi orientada em cada ponto de medição conforme o melhor nível de sinal e menor degradação por multipercurso. O atenuador existente no veículo foi ajustado, em cada caso, até que o nível de potência na entrada do receptor fosse igual a -30 dBm (média para os receptores DVB-T, ATSC e ISDB-T), para normalizar o valor da potência de entrada no receptor [25]. Note-se que, quando não foi conseguido o valor de -30 dBm na entrada do receptor, foram usados valores menores, porém nunca inferiores a -50 dBm.

Foram medidas e calculadas todas as perdas e ganhos que estavam no caminho de alimentação do sinal de RF (antena, cabos, atenuadores, filtros, etc.). As medidas forneceram, a intensidade de campo recebido em $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$, a relação portadora - ruído C/N recebido em dB, o limiar de C/N e a margem de recepção para cada ponto de medição.

O banco de dados formado contém 132 pontos de medida, sendo que em cada local, pelo chaveamento do transmissor, foram obtidas medidas de nível de sinal recebido para cada um dos três sistemas de modulação 8VSB (ATSC) e COFDM (DVB-T e ISDB-T).

No desenvolvimento deste trabalho, somente medidas do padrão ISDB-T foram consideradas. No processamento e análise dos dados estas medidas são classificadas com relação à distância entre transmissor e receptor e de acordo com a sua condição de visibilidade (LOS ou NLOS).

4.2. Segunda Campanha de Medição

Na segunda campanha de medidas foi utilizado um sistema de transmissão de TV Digital composto de um equipamento transmissor digital com potência média de 1.2 kW, que gerava um sinal padrão de teste no formato ISDB-T (modulação COFDM), com frequência central em 533 MHz (canal 24), instalado na torre da MTV, localizada no bairro do Sumaré, na cidade de São Paulo.

A estação transmissora foi instalada na Torre da MTV no canal 24, localizada no Sumaré – SP com cota de 828 m. Utilizou-se no transmissor uma

composição de painéis de dipolos do fabricante Thomson-LGT, localizados a uma altura de 130 metros sobre o nível do solo. O diagrama de irradiação é mostrado na figura 4.3 e apresenta o zero grau do diagrama de irradiação voltado para 321°.

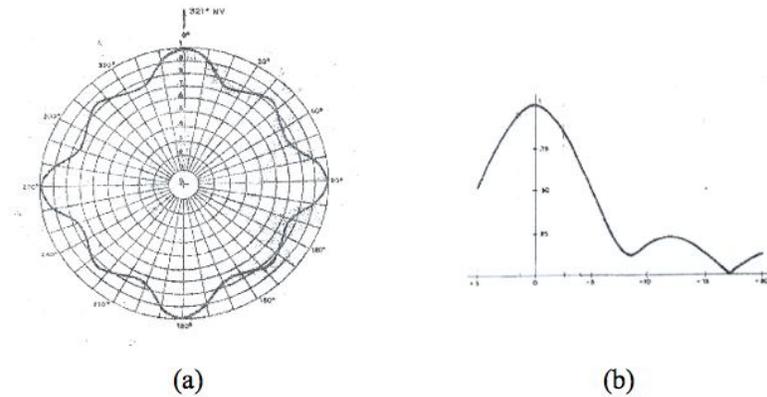


Figura 4.3 – Diagramas horizontal e vertical da antena transmissora

O equipamento completo da estação transmissora incluiu:

- Transmissor digital sintonizável ajustado na frequência autorizada;
- Medidor de potência;
- Antena transmissora omnidirecional;
- Carga RF (com potência equivalente à saída do transmissor);
- Modulador digital de sinal padrão ISDB-T.

Para a recepção dos sinais em diferentes pontos da cidade, foi utilizada uma unidade móvel, montada com uma estação receptora portátil composta com todos os recursos e equipamentos de um laboratório de TV Digital necessários para a realização do experimento, incluindo um mastro retrátil com altura máxima de 10 metros para a antena receptora, um conjunto completo de instrumentos de medição e de armazenamento dos dados coletados, um sistema gerador de energia independente e um sistema de posicionamento global (GPS) com bússola (ver figura 4.4).

A estação receptora incluiu os seguintes equipamentos:

- Antena omnidirecional;
- Sistema de amplificadores e atenuadores;

- Gerador de ruído;
- Analisador de espectro - Anritsu MS8901A;
- Receptor Digital padrão ISDB-T;
- Receptor de TV;
- Aparelho GPS com bússola.

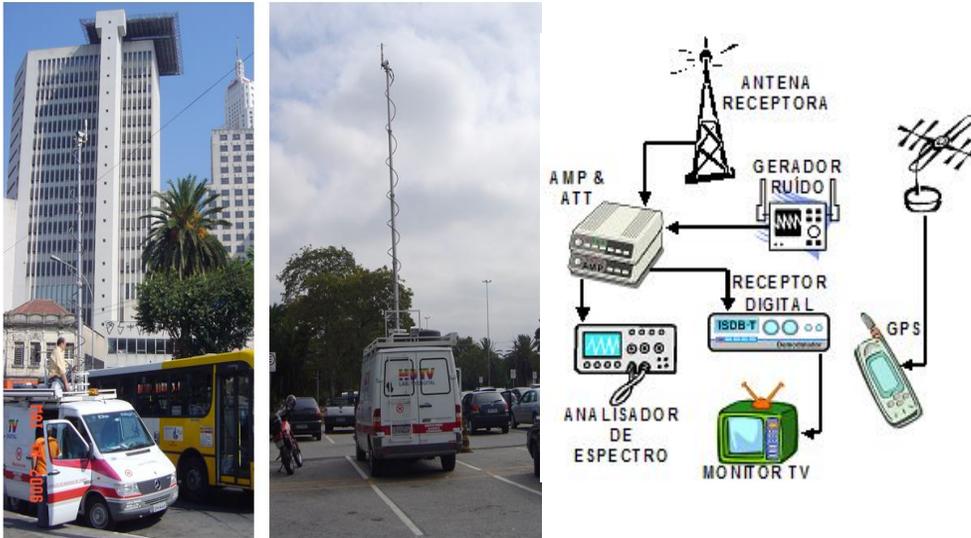


Figura 4.4. Configuração da montagem dos equipamentos de medição instalados no veículo

Foram escolhidos 20 locais de medição, com ambiente típicos variando desde regiões densamente urbanizadas, caracterizadas por predominância de edificações de grande altura, a regiões urbanas de menor densidade, caracterizadas tipicamente por edificações de menor altura ou áreas onde a maioria das construções é de casas ou sobrados. Foi realizada ainda uma medida para caracterizar a recepção em uma região cercada de árvores, no Parque do Ibirapuera. As distâncias utilizadas entre o transmissor e o receptor variaram de 2 a 14 km. A figura 4.5 apresenta a localização geográfica dos pontos de medida.

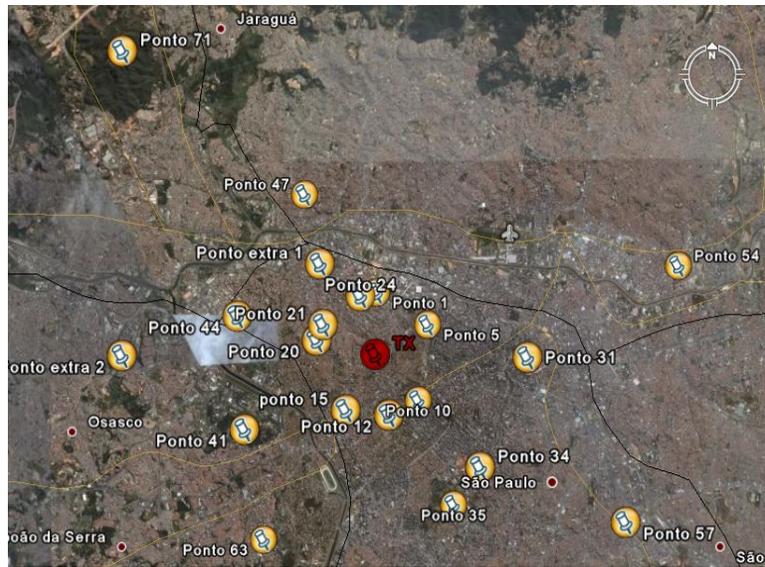


Fig. 4.5 Localização Geográfica dos Pontos de Medida da Segunda Campanha

Os principais resultados obtidos nesta campanha foram perfis de retardo em cada um dos pontos de recepção utilizando um analisador MS8901A da Anritsu com resolução do aparelho é de $0.123 \mu\text{s}$. A figura 4.6 ilustra o perfil de retardos obtido num local de medida.

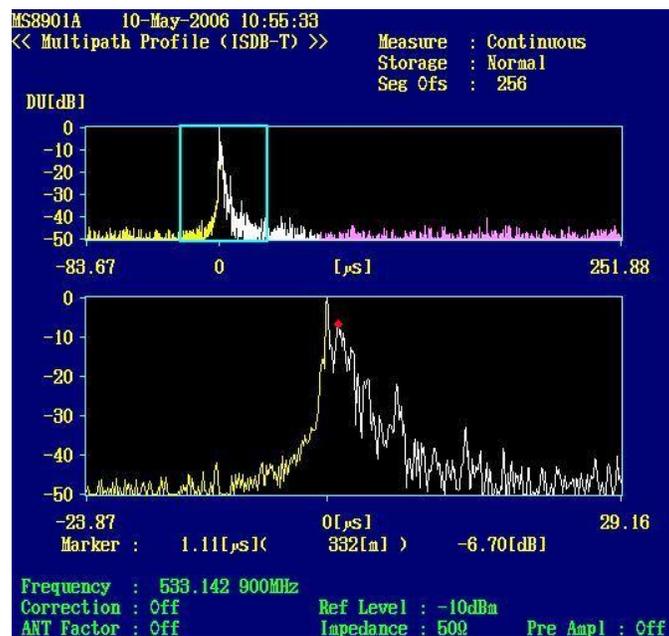


Figura 4.6 Perfil de retardo obtido através do analisador ANRITSU MS8901A

4.3. Terceira campanha de medição

Esta campanha foi realizada nas instalações do prédio 20 do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO. Os locais escolhidos para a realização dos experimentos foram selecionados de modo a representar diferentes condições de recepção interna do sinal de TV Digital que podem se apresentar na prática.

Nesta campanha a diferença das duas anteriores, o sinal de TV transmitido foi gerado com o gerador de sinais, *Broadcast Test System* - SFU da marca *Rohde & Schwarz*, com capacidade de gerar um sinal no padrão ISDB. As características do sinal usado são as mesmas as usadas na segunda campanha, porém não entraremos em detalhe nesta seção. Na ponta do transmissor além do transmissor, o setup contou com um amplificador de potência Power System Technology – PST, operando na faixa de 800 MHz até 2000 MHz e potência de saída de 20 W, cabos, e um casador de impedância 75/50, e uma antena tipo yagi operando entre os canais 34 e 89 (580 MHz – 890 MHz) o diagrama de irradiação desta antena é apresentado na figura 4.7. A potência saída do sinal foi ajustada para se obter -30 dBm na recepção na parte exterior do prédio.

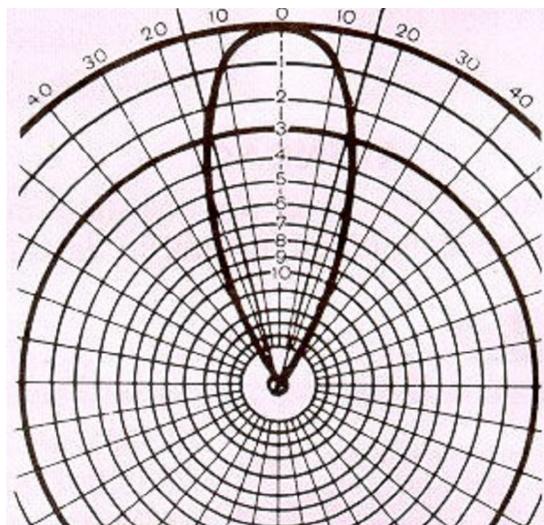


Figura 4.7 Diagrama de radiação horizontal da antena transmissora

Na recepção do canal, o sistema continha um analisador de espectro MS8901A da marca Anritsu, um amplificador de baixo ruído (LNA) ZFL1000LN da Minicircuit, operando na faixa entre 100 KHz -1000 MHz com ganho nominal de 23.5 dB na faixa usada nas medições, um casador de impedância MA1621A 75/50 da Anritsu, uma antena omnidirecional (comercial) operando com faixa de operação entre os canais 34 e 89 (580 MHz – 900 MHz) com diagrama de radiação apresentado na figura 4.8.

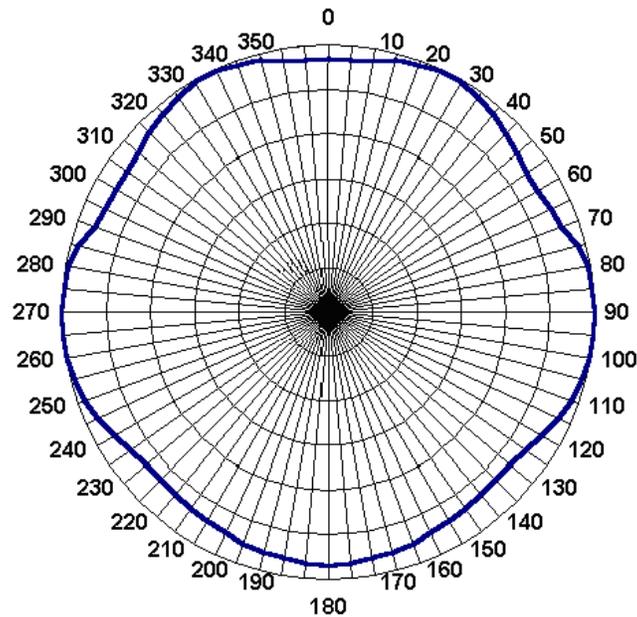
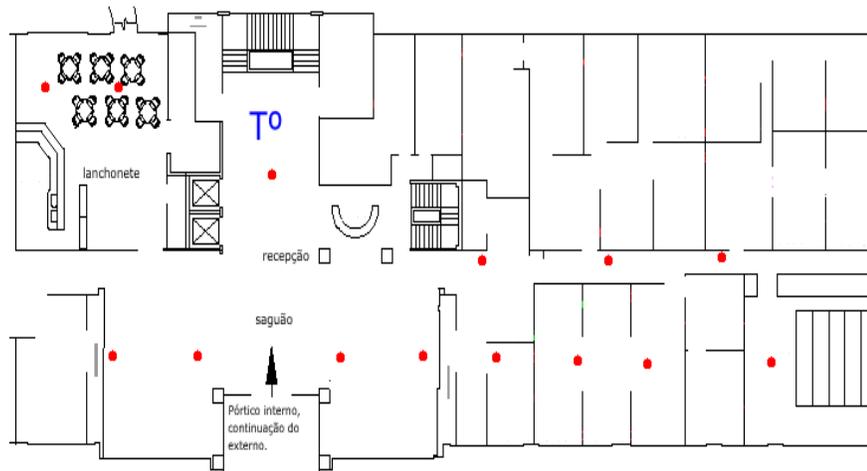


Figura 4.8 Diagrama de radiação horizontal da antena receptora

O prédio possui 4 andares onde são localizadas diferentes dependências administrativas. Estas áreas compreendem ambientes abertos com divisórias de mediana altura de material de madeira e esquadilha de alumínio. A parte externa do prédio (fachada) é formada por janelas de vidro e esquadilha de alumínio. No primeiro andar do prédio encontra-se localizada a recepção, uma área aberta sem nenhum tipo de obstrução. As salas do primeiro e segundo andar apresentam a mesma estrutura física; aberta com divisórias baixas. No terceiro andar as divisórias são altas, mas do mesmo material. O quarto andar tem divisórias medianas, mas com a presença de um armário de metal, que pode se comportar como espalhador. Em cada um dos andares encontram-se localizadas ainda portas de metal de dois elevadores.

Para a realização do experimento foram escolhidos aproximadamente 56 locais de medição num prédio composto por quatro andares com características de prédio de escritórios. Foram obtidos, em cada local de medida, o nível de sinal recebido e o perfil de retardos do sinal. As figuras 4.9 (a) e (b) apresentam as plantas dos andares, térreo e segundo andar com a localização dos locais de medidas.



(a)



(b)

Figura 4.9 Planta do local das medições (prédio 20), (a) térreo e (b) 2o. andar

4.4. Obtenção Perfil de Retardos Usando um Sinal com modulação OFDM

A modulação OFDM tem-se mostrado bastante eficiente para o serviço de radiodifusão de televisão digital. Este esquema é utilizado em sistemas como o Europeu DVB-T (*Digital Video Broadcasting Terrestrial*) e o padrão Japonês ISDB-T (*Integrated Service Digital Broadcasting Terrestrial*).

Geralmente, em sistema OFDM os sinais de portadoras piloto são utilizados para definir o comportamento do canal de radiopropagação. Nos esquemas do ISDB-T e DVB-T, estas portadoras piloto são alocadas aleatoriamente (SP – *scatter pilot*) no espaço do símbolo OFDM, como mostra a figura 4.10.

A amplitude e fase das portadoras piloto são previamente definidos. No receptor os dados carregados pelas portadoras piloto são comparados com os enviados e a diferença é utilizada para descrever o comportamento do canal.

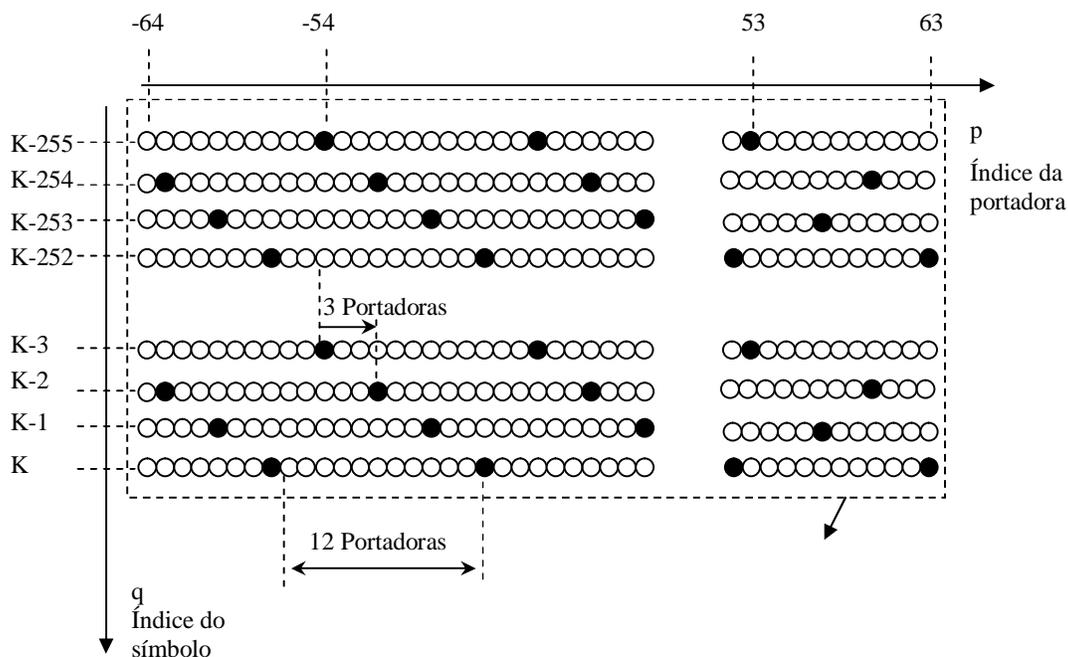


Figura 4.10 Alocação dos sinais piloto no domínio bidimensional OFDM

A seguir será apresentada uma breve descrição de como é obtida a resposta impulsiva do canal a partir dos canais piloto usando o esquema de modulação

OFDM. Nesta descrição será usado o padrão ISDB-T na configuração apresentada na tabela 4.1

Parâmetro	Parâmetro - Símbolo	Valor
Largura de banda do Segmento	ws	0,4286 MHz
No. de portadoras por segmento	cs	108
Espaçamento entre portadoras	Fe	3,968 KHz (=ws/cs)
Comprimento do símbolo efetivo	Te	256 μ s (=1/Fe)
Intervalo de Guarda	Rg	1/4, 1/8, 1/16
Comprimento do intervalo de Guarda	Tg	Tg=Te*Rg
Tempo total do símbolo	Ta	Ta=Te+Tg
Frequência de transmissão do símbolo	Fa	Fa=1/Ta

Tabela 4.1 Configuração do sinal transmitido no padrão ISDB-T

Na figura 4.11 é apresentada a configuração simplificada do receptor. Como pode ser observado o receptor é formado por um bloco de recepção de símbolo OFDM (11), um bloco de armazenamento de símbolo (12), um bloco de estimação da função característica (20) e um bloco de decodificação dos dados (30).

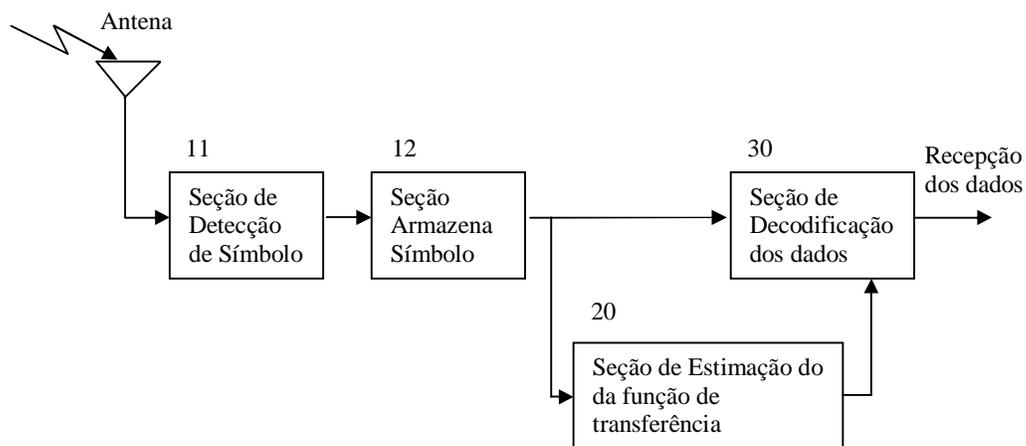


Figura 4.11 Diagrama de Blocos do Receptor

O bloco de detecção de símbolo (11) detecta as portadoras contidas em cada símbolo transmitido seqüencialmente e determina as amplitudes complexas $S_{p,k}$ da portadora p no k -ésimo símbolo. O índice $p=0$ corresponde ao centro do canal como apresenta a figura 4.10, assim o valor $S_{0,k}$, pertence à portadora correspondente ao centro do canal. Este bloco possui também um conversor A/D, e o circuito que remove o intervalo de guarda.

O bloco de armazenamento de símbolos é um circuito que seleciona o centro do canal do número de nX de portadoras cujas amplitudes são entregues pelo bloco (11) e armazena em tempo de nY símbolos na direção dos símbolo (ver figura 5.6), assim definindo o grupo de portadoras dentro do espaço de símbolo OFDM ($nX \times nY$), onde as amplitudes das portadoras $S_{p,q}$ ($-nX/2 \leq p \leq nX/2$, $k-nY \leq q \leq nY$) são armazenadas. Desta maneira, as amplitudes são armazenadas numa matriz bi-dimensional $\{S_{p,q}; (p,q) \in Z_{2D}\}$ no espaço (p,q) , onde p e q correspondem aos índices da portadora e do símbolo, respectivamente, onde Z_{2D} é o domínio da transformada bi-dimensional de Fourier. Como pode ser observado na figura. 4.9, as SP são localizadas a cada 12 portadoras e este arranjo é repetido a cada 3 símbolos. O bloco de estimação da função de característica (20) é uma seção que calcula uma função característica a partir das amplitudes das portadoras armazenadas por (12) dentro do domínio de estimação Z_{EST} e aplica sua saída ao bloco (30).

O bloco de decodificação dos dados (30) é encarregado de extrair as amplitudes das portadoras no domínio de estimação da matriz de amplitudes armazenada no bloco (12) e realizar a decodificação. O bloco de decodificação também realiza processos de equalização, de entrelaçamento e decodificação dos dados usando códigos Reed Solomon, a partir das amplitudes armazenadas por (12) e das funções características enviadas por (20).

A seguir a figura 4.12 apresenta num maior grau de detalhe o bloco de estimação (20).

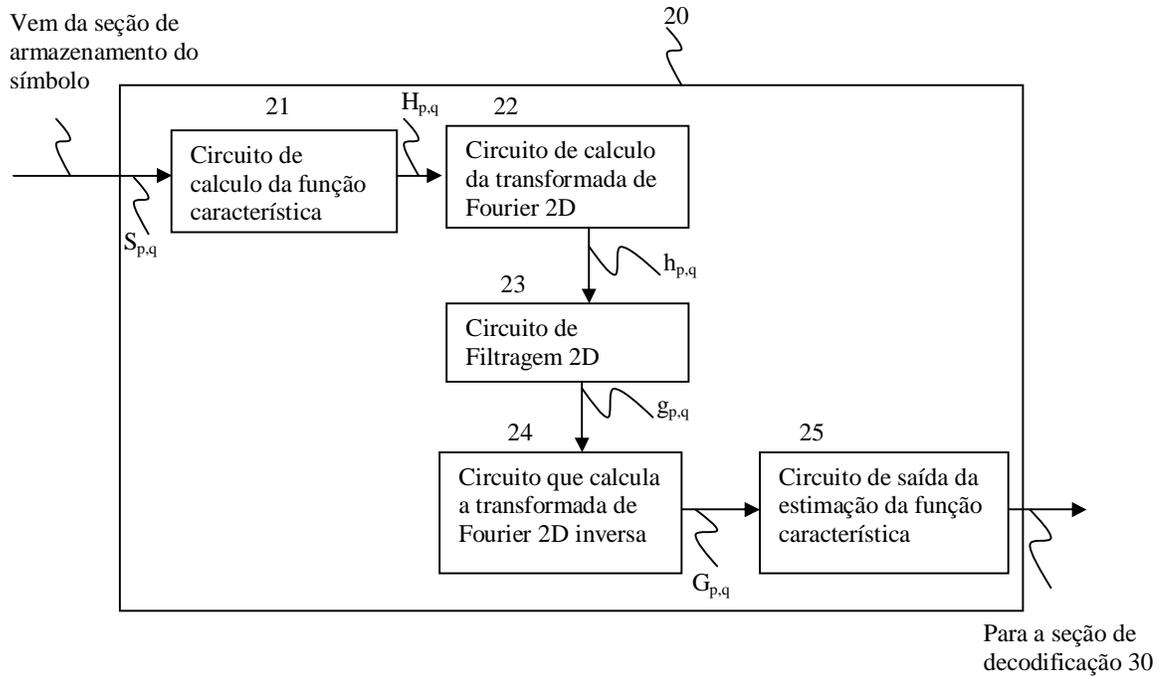


Figura 4.12 Diagrama de Blocos do Processo de Estimação

Como mostrado na Figura. 4.12, o bloco de estimação (20), é formado pelo circuito de cálculo das funções características das SP (21), o circuito que faz transformada bi-dimensional de Fourier (22), o circuito bi-dimensional de filtragem (23), o circuito que calcula da transformada de inversa bi-dimensional de Fourier (24) e o circuito de saída das funções de características (25).

O circuito (21) extrai somente as amplitudes dos sinais SP armazenadas pelo bloco (12) e as divide pelo valor previamente conhecido assim obtendo a função característica $H_{p,q}$, que é enviada ao circuito (22) onde:

$$\begin{aligned}
 H_{p,q} &= S_{p,q} / R_{p,q} && \text{para a portadora contendo SP} \\
 H_{p,q} &= 0 && \text{para a portadora contendo dados}
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

onde $S_{p,q}$, corresponde à amplitude da portadora recebida $R_{p,q}$, é a amplitude conhecida a priori.

O circuito (22) executa a transformada de Fourier bi-dimensional transformando as funções características $H_{p,q}$ das SP em todos os elementos (p,q) do espaço Z_{2D} em $\{h_{m,n}: (m,n) \in Z_{EST}\}$ no espaço (m,n) , isto é, na direção p das portadoras (frequência) do espaço (p,q) , o domínio da frequência é transformado no domínio do tempo aplicando IFFT e na direção q dos símbolos (tempo), o domínio do tempo é transformado no domínio da frequência executando a FFT. Como resultado se tem o espaço (m,n) , onde a direção de m corresponde à dimensão em tempo, e a direção n é dimensão em frequência. Mais especificamente, m corresponde ao retardo da resposta impulsiva e n é variação em frequência (Frequência Doppler). O circuito (23) aplica um filtro passa banda sobre a matriz bi-dimensional (m,n) , cuja saída é:

$$\begin{aligned} g_{m,n} &= h_{m,n} \text{ para a portadora dentro do filtro} \\ g_{m,n} &= 0 \text{ para a portadora fora do filtro} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Adicional ao processo anterior é feita uma nova filtragem dos dados do canal piloto, comparado a densidade de potência da portadora piloto $P_{m,n} = |h_{m,n}|^2$ como um determinado limiar de potência, assim a função característica do canal piloto é obtida como:

$$\begin{aligned} \text{Se } P_{m,n} > \text{Limiar} &\Rightarrow g_{m,n} = h_{m,n} \\ \text{Se } P_{m,n} > \text{Limiar} &\Rightarrow g_{m,n} = 0 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Desta maneira é possível obter a densidade de potência em toda a banda transmitida através de interpolação. Nas portadoras de dados é realizada uma interpolação em tempo e frequência entre as portadoras SP para obter uma aproximação das densidades de potência nelas contidas. A resposta impulsiva do canal do m -ésimo símbolo na n -ésima portadora para o dado recebido é estimada através da interpolação bidimensional entre as respostas dos canais piloto $h_{m,n1(\text{piloto})}$, $h_{m,k2(\text{piloto})}$, $h_{n1,k(\text{piloto})}$, $h_{n2,k(\text{piloto})}$, onde $n1$ e $n2$ são os índices dos pilotos

vizinhos de n no domínio da frequência e m_1 , m_2 são os índices dos pilotos vizinhos a n no domínio do tempo.

4.5. Processamento dos Dados Medidos

As medidas da intensidade de campo em cada uma das campanhas foram armazenadas em planilhas de Excel, para posterior comparação a Recomendação da ITU-R P.1546-3.

No caso da segunda e terceira campanhas foram obtidos também os perfis de retardo associados aos valores da densidade de potência recebida em função do tempo. Como descrito na seção anterior, nesta medida o analisador de espectro utiliza os canais piloto (colocados uniformemente nas portadoras fazendo uso do esquema de modulação OFDM), cuja característica é conhecida e utilizada para estimar e obter o perfil de potência ou retardo do canal.

A fim de se obter as componentes de multipercurso em cada um dos perfis e eliminar qualquer componente medida que não pertença a um espalhador, foi utilizada a técnica desenvolvida por E. Souza [40]. Esta técnica tem como objetivo eliminar os efeitos causados pelo ruído e obter as componentes de multipercurso pertencentes aos espalhadores.

O procedimento começa com a obtenção do valor do ruído térmico, assumido como gaussiano com amplitudes seguindo a distribuição de Rayleigh. Para se obter este valor uma primeira opção é a de utilizar o valor médio do perfil de retardos mas, pelo fato deste valor ser afetado significativamente pelas componentes de multipercurso válidas ou inválidas (componentes devido ao ruído impulsivo) que aparecem nas medidas com valores relativamente altos em relação ao ruído, optou-se por utilizar o valor mediano do perfil de retardos. O valor mediano estimado é obtido através da equação (4.4).

Utilizando (4.4) e fazendo $p=0,5$ é possível obter o valor do desvio padrão do ruído térmico referente a valor mediano. observa-se que o valor do desvio padrão do ruído térmico é 1.4 vezes abaixo do valor mediano.

$$p = \exp\left(-\frac{\zeta}{2\sigma_N}\right) \quad (4.4)$$

O valor do limiar(intervalo) utilizado neste método é igual à mediana mais o desvio padrão do ruído térmico, acrescido de uma margem que é definida como o valor necessário para a obtenção ou filtragem de componentes de multipercurso válidas do perfil.

Este método, conhecido como CFAR, define uma margem que corresponde à probabilidade do ruído exceder uma determinada margem sem o surgimento de uma componente. Definindo um valor de 1×10^{-5} como a probabilidade de falso alarme, obtemos uma margem de 13,87 dB.

Pode se dizer que as componentes correspondentes a ruído aparecem num determinado *intervalo*, enquanto que as componentes validas ocupam pelo menos dois *intervalos* com uma grande probabilidade. Se considerarmos que em pelo menos três perfis no mesmo ponto aparece uma componente num determinado *intervalo*, podemos utilizar estes 2 critérios para melhorar o método de obtenção das componentes validas. Assim para cada ponto foram utilizados três perfis, onde as componentes válidas têm que cumprir os seguintes critérios:

- a) O limiar é excedido nos três perfis analisados;
- b) Pelo menos um dos vizinhos satisfaz o item a).

Após a aplicação do algoritmo obtém-se o resultado ilustrado na figura 4.13

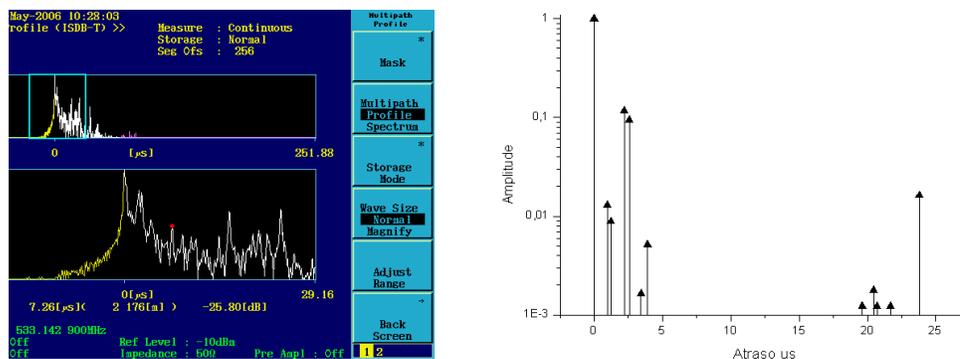


Figura 4.13 Perfil de retardo depois de aplicado a filtragem de componentes válidas